



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 42 114 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**G 02 B 21/00**

⑳ Aktenzeichen: 100 42 114.8  
㉔ Anmeldetag: 28. 8. 2000  
㉕ Offenlegungstag: 14. 3. 2002

**DE 100 42 114 A 1**

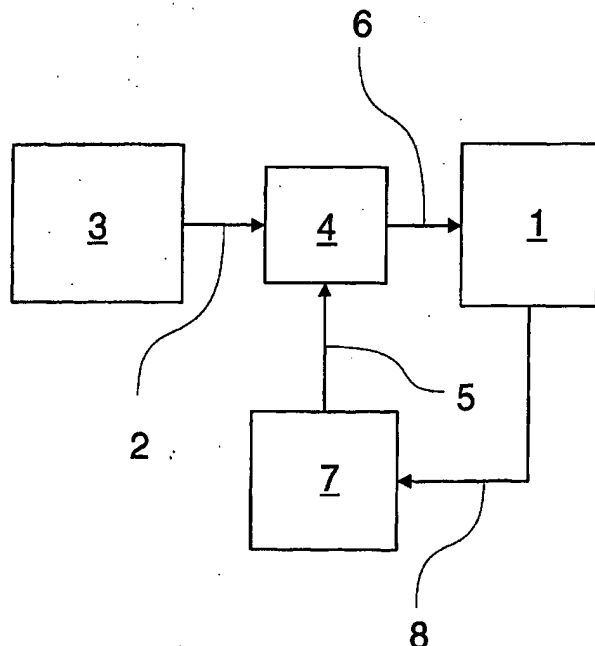
㉚ Anmelder:  
Leica Microsystems Heidelberg GmbH, 68165  
Mannheim, DE  
  
㉛ Vertreter:  
Ullrich & Naumann, 69115 Heidelberg

㉜ Erfinder:  
Storz, Rafael Dr., 69245 Bammental, DE;  
Engelhardt, Johann Dr., 76669 Bad Schönborn, DE;  
Birk, Holger Dr., 74909 Meckesheim, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Verfahren zur Beleuchtung eines Objekts mit Licht einer Laserlichtquelle

⑤7 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Beleuchtung eines Objekts mit Licht (2) einer Laserlichtquelle (3), vorzugsweise in einem konfokalen Rastermikroskop (1). Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann die Kohärenzlänge des Laserlichts herabgesetzt werden, so dass störende Interferenzerscheinungen weitgehend eliminiert werden können. Falls sich dennoch Interferenzerscheinungen ausbilden, sollen diese derart beeinflusst werden, dass sie auf die Detektion keinen Einfluss haben. Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenlage des Lichtfelds mit einem Modulationsmittel (4) derart variiert wird, dass Interferenzerscheinungen im optischen Strahlengang innerhalb eines vorgebbaren Zeitintervalls nicht oder nur in einem nicht detektierbaren Umfang auftreten.



**DE 100 42 114 A 1**

## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Beleuchtung eines Objekts mit Licht einer Laserlichtquelle, vorzugsweise in einem konfokalen Rastermikroskop.

[0002] Laserlichtquellen werden in einer Vielzahl von Geräten und Anwendungen zur Beleuchtung von Objekten eingesetzt. Hierbei werden insbesondere die Vorteile der hohen Kohärenzlänge, des ausgezeichneten Strahlprofils bzw. die Parallelität der von der Laserlichtquelle emittierten Lichtstrahlung, die hervorragende Frequenz- bzw. Wellenlängenkonstanz, sowie die Monochromasie des Lichts ausgenutzt.

[0003] Die hohe räumliche und zeitliche Kohärenz des Laserlichts beruht auf der stimulierten Emission des optischen Mediums im Laser und hat zur Folge, dass sowohl die einzelnen Teilwellen als auch die zu verschiedenen Zeiten emittierten Wellen nahezu unbeschränkt interferieren. Die Kohärenzlänge  $l$  eines Lasers ist mit der Linienbreite  $\delta\nu$  über die Beziehung

$$l = c/(2\pi\delta\nu)$$

wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist. Demgemäß entspricht eine Linienbreite von  $\delta\nu = 100$  MHz eine Kohärenzlänge von  $l = 0,5$  m. Die Linienbreite bzw. die Kohärenzlänge einer Laserlichtquelle hängt auch entscheidend von dem Zeitintervall ab, über das die Linienbreite bzw. die Frequenz der Laserlichtquelle gemessen wird. Beispielsweise zeigt ein Laseroszillator bei großen Integrationszeiten Langzeiteffekte, die proportional zum Zeitintervall der Messung sind und durch eine lineare Drift des Laseroszillators, beispielsweise aufgrund von Temperaturschwankungen, hervorgerufen werden.

[0004] Für einige Anwendungen ist eine hohe Kohärenzlänge jedoch störend, da sich hierdurch unerwünschte Interferenzerscheinungen in dem optischen Strahlengang ausbilden können. Insbesondere bei der konfokalen Rastermikroskopie können solche Interferenzerscheinungen Abbildungsfehler induzieren.

[0005] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem die Kohärenzlänge des Laserlichts herabgesetzt werden kann, so dass störende Interferenzerscheinungen weitgehend eliminiert werden können. Falls sich dennoch Interferenzerscheinungen ausbilden, sollen diese derart beeinflusst werden, dass sie auf die Detektion keinen Einfluss haben.

[0006] Das erfindungsgemäße Verfahren der gattungsbildenden Art löst die voranstehende Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruchs 1. Danach ist ein solches Verfahren dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenlage des Lichtfelds mit einem Modulationsmittel derart variiert wird, dass Interferenzerscheinungen im optischen Strahlengang innerhalb eines vorgebbaren Zeitintervalls nicht oder nur in einem nicht detektierbaren Umfang auftreten.

[0007] Erfindungsgemäß ist zunächst erkannt worden, dass störende Interferenzerscheinungen im optischen Strahlengang vermieden werden können, wenn die Kohärenzlänge des von der Laserlichtquelle emittierten Lichts kleiner als der optische Weg im Beleuchtungsstrahlengang ist. Selbst wenn sich störende Interferenzerscheinungen im optischen Strahlengang ausbilden, können mit einem geeigneten Modulationsmittel diese geeignet verändern, so dass innerhalb eines gegebenenfalls von einer Detektionseinrichtung abhängenden vorgebbaren Zeitintervalls die Interferenzerscheinungen als solche nicht detektierbar sind.

[0008] Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens können in besonders vorteilhafter Weise Festkörperlaser-

systeme, inklusive Halbleiter- bzw. Diodenlaser, eingesetzt werden. Auch die Verwendung schmalbandiger Gaslaser wird hierdurch möglich. Diese Lasersysteme sind in der Handhabung nicht so kompliziert, sie sind preiswerter und kleiner in der Bauweise.

[0009] In gleicher Weise könnten frequenzverdoppelnde Lasersysteme sowie OPO's (optische Parametrische Oszillatoren) für die konfokale Rastermikroskopie Verwendung finden.

10 [0010] Zur konkreten Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind mehrere Varianten vorgesehen.

[0011] In einer ersten Variante dient ein EOM (Electro-Optical-Modulator) als Modulationsmittel. Dieser EOM ist der Laserlichtquelle direkt nachgeordnet, so dass die von der Laserlichtquelle emittierte Laserstrahlung den EOM durchläuft. Der EOM kann die Phasenlage des Lichtfelds derart verändern, dass hierdurch eine Verbreiterung der spektralen Linienbreite der Laserstrahlung erzielt wird. Hierbei könnte der EOM mit einem Rauschsignal, einem periodischen oder einem statistischen Signal beaufschlagt werden, wodurch spektrale Anteile dem Laserlicht aufmoduliert werden und wodurch sich die Linienbreite der Laserstrahlung bis zur Linienbreite des aufmodulierten Signals erhöht.

[0012] In einer zweiten Variante wird ein Spiegel, eine Linse oder ein Strahlteiler als Modulationsmittel verwendet. Auch dieses Modulationsmittel ist der Laserlichtquelle nachgeordnet. Es ist derart gelagert, dass es aufgrund von Vibrationen oder Schwingungen des optischen Aufbaus bzw. des Gehäuses selbst vibriert oder schwingt. Hierbei könnte es sich im einfachsten Fall um eine Linse handeln, die in einer Linsenhalterung lediglich eingelegt jedoch nicht befestigt ist. Durch die leichten Vibrationen bzw. Schwingungen des Geräts, die ohnehin beispielsweise von Lüftern induziert werden, gelangt die Linse selbst in Schwingung. Der Spiegel, die Linse oder der Strahlteiler könnten auch mit Hilfe eines Stellelements bewegt werden. Das Stellelement könnte beispielsweise ein Piezoelement sein, das mit einem entsprechenden Stellsignal beaufschlagt wird.

[0013] Durch die Schwingung, Vibration und/oder Bewegung des Modulationsmittels kann der optische Weg der Lichtstrahlung statistisch verändert werden, d. h. die Länge des optischen Wegs wird hierdurch statistisch variiert. Durch die statistische Variation des optischen Wegs ändern sich auch in dem vorgegebenen Zeitintervall gegebenenfalls auftretende Interferenzerscheinungen, so dass ein integraler Detektor – d. h. ein Detektor der beispielsweise die gesamte Lichtintensität innerhalb des vorgegebenen Zeitintervalls aufsummiert – die Interferenzerscheinung als solche nicht detektiert und demgemäß das Meßergebnis auch nicht störend beeinflusst wird.

[0014] In einer dritten Variante ist vorgesehen, dass das Modulationsmittel die Laserlichtquelle beeinflusst. So könnte beispielsweise ein Modulationsmittel die Laserlichtquelle ein- und ausschalten. Dieser Ein- und Ausschaltvorgang müßte mindestens einmal innerhalb des vorgebbaren Zeitintervalls erfolgen. Das Ein- und Ausschalten könnte durch entsprechende Modulation des Pumpstroms des Lasers erfolgen, indem nämlich das Modulationsmittel beispielsweise den Pumpstrom periodisch unterbricht. Ganz allgemein könnte vorgesehen sein, dass das Modulationsmittel den Pumpstrom des Lasers beeinflusst. Hierbei könnte beispielsweise der Pumpstrom eines Diodenlasers sinusförmig moduliert werden, so dass die vom Diodenlaser emittierte Lichtleistung sich ebenfalls periodisch ändert. Hierdurch könnte sich die Wellenlänge des von dem Diodenlaser emittierten Lichts verändern, was bei einer konkreten Anwendung zu berücksichtigen ist.

[0015] Alternativ hierzu ist vorgesehen, dass die Intensität

der Laserlichtquelle beeinflusst wird. Dies könnte mit herkömmlichen Methoden der Intensitätsbeeinflussung bei Laserlichtquellen erfolgen, beispielsweise durch Q-switching oder Cavity-dumping.

[0016] Weiterhin könnte das Modulationsmittel den Laserresonator oder das optische Medium des Lasers beeinflussen. Im Konkreten könnte vorgesehen sein, dass das Modulationsmittel als ein Piezoelement ausgestaltet ist, das mindestens ein Bauteil des Laserresonators und/oder das optische Medium bewegt und/oder deformiert. Im Konkreten könnte das Piezoelement direkt oder indirekt mit dem optischen Medium, beispielsweise mit dem Laserkristall, verbunden sein. Durch eine entsprechenden Beschaltung des Piezoelements wird dann dessen Ausdehnung auf das optische Medium übertragen und somit der Laser in seinem üblichen Betrieb gestört.

[0017] Ganz allgemein ist vorgesehen, dass das Modulationsmittel mit einem Signal beaufschlagt wird. Bei dem Signal könnte es sich um ein Rauschsignal, ein periodisches oder ein statistisches Signal handeln. Demgemäß könnte beispielsweise das als EOM ausgestaltete Modulationsmittel mit einem Rauschsignal, das als Stellelement ausgestaltete Modulationsmittel könnte mit einem statistischen Signal beaufschlagt werden. Zum Erzeugen des Rauschsignals könnte ein Rauschgenerator verwendet werden.

[0018] Im konkreten ist vorgesehen, dass erfindungsgemäße Verfahren in einem konfokalen Rastermikroskop zu verwenden. Hierbei könnte es sich beispielsweise um ein konfokales Rastermikroskop zur Inspektion von Erzeugnissen der Halbleiterindustrie handeln. Ein konfokales Fluoreszenz-Laserscanning-Mikroskop oder ein doppelkonfokales Rastermikroskop käme ebenfalls in Frage.

[0019] Das vorgebbare Zeitintervall in dem das Modulationsmittel die Phasenlage des Lichtfelds variiert, wäre bei Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens in Verbindung mit einem konfokalen Rastermikroskop kürzer als die Pixel-Clock zu wählen. Unter dem Begriff Pixel-Clock wird bei der konfokalen Rastermikroskopie das Zeitintervall verstanden, bei dem die beim Abrastern des Objekts gemessenen Lichtintensitätswerte kumulativ einem Bildpunkt (Pixel) zugeordnet werden. Vorzugsweise wird das vorgebbare Zeitintervall kürzer als das der halben Pixel-Clock entsprechende Zeitintervall gewählt, um die im optischen Strahlengang gegebenenfalls auftretenden Interferenzerscheinungen sooft wie möglich während des vorgebbaren Zeitintervalls zu variieren. Hierdurch treten die Interferenzerscheinungen in einem nicht detektierbaren Umfang auf.

[0020] Die Modulation der Phasenlage des Lichtfelds wird mit dem Rastervorgang des konfokalen Rastermikroskops synchronisiert. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Vorgabe des Zeitintervalls, also beispielsweise der Pixel-Clock, zur erfolgreichen Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens dienlich. Ganz allgemein ist die Modulation der Phasenlage des Lichtfelds mit dem durchzuführenden Beleuchtungsvorgang eines Objekts synchronisierbar.

[0021] Eine durch die Modulation bedingte Veränderung der Wellenlänge des Laserlichts wird in vorteilhafter Weise von der Steuereinheit eines AOTF's (Acousto-Optical-Tunable-Filter) oder eines AOB's (Acousto-Optical-Beam-Splitter) berücksichtigt. Dieses Bauteil ist dazu vorgesehen, das Laserlicht in den optischen Aufbau bzw. das konfokale Rastermikroskop einzukoppeln. Die Einkopplung mit einem AOTF oder AOB ist hierbei üblicherweise nur für einen begrenzten Wellenlängenbereich des Laserlichts eingestellt, so dass bei einer durch die Modulation bedingten Veränderung der Wellenlänge des Laserlichts die Steuereinheit des AOTF's bzw. das AOB's entsprechend zu verändern ist, um die Einkopplungseffizienz nicht herabzusetzen.

[0022] In gleicher Weise wäre die Berücksichtigung einer durch die Modulation bedingten Veränderung der Leistung des Laserlichts von der Steuereinheit eines das Laserlicht einkoppelnden AOTF's oder AOB's denkbar. Somit kann auch hierdurch die Einkoppleffizienz im wesentlichen konstant gehalten werden.

[0023] Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche und andererseits auf die nachfolgende Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung werden auch im allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt

[0024] Figur eine schematische Darstellung eines konfokalen Rastermikroskops, bei dem das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzt wird.

[0025] Die Figur zeigt ein konfokales Rastermikroskop 1, bei dem ein Objekt mit Licht 2 einer Laserlichtquelle 3 beleuchtet wird.

[0026] Erfindungsgemäß wird die Phasenlage des Lichtfelds mit einem als EOM ausgebildeten Modulationsmittel 4 derart variiert, dass Interferenzerscheinungen im optischen Strahlengang innerhalb eines vorgebbaren Zeitintervalls nicht oder nur in einem nicht detektierbaren Umfang auftreten.

[0027] Der EOM 4 ist der Laserlichtquelle 3 direkt nachgeordnet. Der EOM 4 wird mit einem statistischen Rauschsignal 5 beaufschlagt, so dass der EOM 4 durchlaufende Laserlicht 2 nach dessen Durchlauf eine verbreiterte spektrale Linienbreite aufweist und demgemäß als Licht 6 geringerer Kohärenzlänge in das konfokale Rastermikroskop 1 eingekoppelt wird. Zum Erzeugen des Rauschsignals 5 wird ein Rauschgenerator 7 verwendet.

[0028] Über die Verbindung 8 wird die Modulation des EOM 4 mit dem Rastervorgang des konfokalen Rastermikroskops 1 synchronisiert.

[0029] Abschließend sei ganz besonders darauf hingewiesen, dass die voranstehend erörterten Ausführungsbeispiele lediglich zur Beschreibung der beanspruchten Lehre dienen, diese jedoch nicht auf die Ausführungsbeispiele einschränken.

#### Bezugszeichenliste

- 1 konfokales Rastermikroskop
- 2 Licht von (3)
- 3 Laserlichtquelle
- 4 Modulationsmittel, EOM
- 5 Rauschsignal
- 6 das durch (4) variierte Licht
- 7 Rauschgenerator
- 8 Synchronisationsverbindung zwischen (1) und (7)

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Beleuchtung eines Objekts mit Licht (2) einer Laserlichtquelle (3), vorzugsweise in einem konfokalen Rastermikroskop (1), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Phasenlage des Lichtfelds mit einem Modulationsmittel (4) derart variiert wird, dass Interferenzerscheinungen im optischen Strahlengang innerhalb eines vorgebbaren Zeitintervalls nicht oder nur in einem nicht detektierbaren Umfang auftreten.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

net, dass als Modulationsmittel ein EOM (4) (Electro-Optical-Modulator) dient.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der EOM (4) direkt der Laserlichtquelle (3) nachgeordnet ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Modulationsmittel (4) ein Spiegel, eine Linse oder ein Strahlteiler verwendet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Modulationsmittel (4) derart gelagert ist, dass es aufgrund von Vibrationen oder Schwingungen des optischen Aufbaus oder des Gehäuses selbst vibriert oder schwingt.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Modulationsmittel (4) mit einem Stallelement bewegt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Stallelement ein Piezoelement ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Modulationsmittel die Laserlichtquelle beeinflusst.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Modulationsmittel die Laserlichtquelle ein- und ausschaltet.

10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Modulationsmittel den Pumpstrom des Lasers beeinflusst.

11. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Modulationsmittel die Intensität der Laserlichtquelle beeinflusst.

12. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Modulationsmittel den Laserresonator oder das optische Medium des Lasers beeinflusst.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Modulationsmittel ein Piezoelement ist, das mindestens ein Bauteil des Laserresonators und/oder das optische Medium bewegt und/oder deformiert.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Modulationsmittel mit einem Rauschsignal (5), einem periodischen oder einem statistischen Signal (5) beaufschlagt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein Rauschgenerator (7) zum Erzeugen des Rauschsignals (5) verwendet wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, gekennzeichnet durch die Verwendung in einem konfokalen Rastermikroskop (1),

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das vorgebbare Zeitintervall kürzer als die Pixel-Clock ist des konfokalen Rastermikroskops (1) ist, vorzugsweise kürzer als das der halben Pixel-Clock entsprechende Zeitintervall.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Modulation mit dem Rastervorgang des konfokalen Rastermikroskops (1) synchronisiert wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass eine durch die Modulation bedingte Veränderung der Wellenlänge des Laserlichts (6) von der Steuereinheit eines das Laserlicht einkoppelnden AOTF's (Acousto-Optical-Tunable-Filter) oder AOB'S's (Acousto-Optical-Beam-Splitter) berücksichtigt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass eine durch die Modulation bedingte Veränderung der Leistung des Laserlichts (6) von der Steuereinheit eines das Laserlicht einkoppelnden

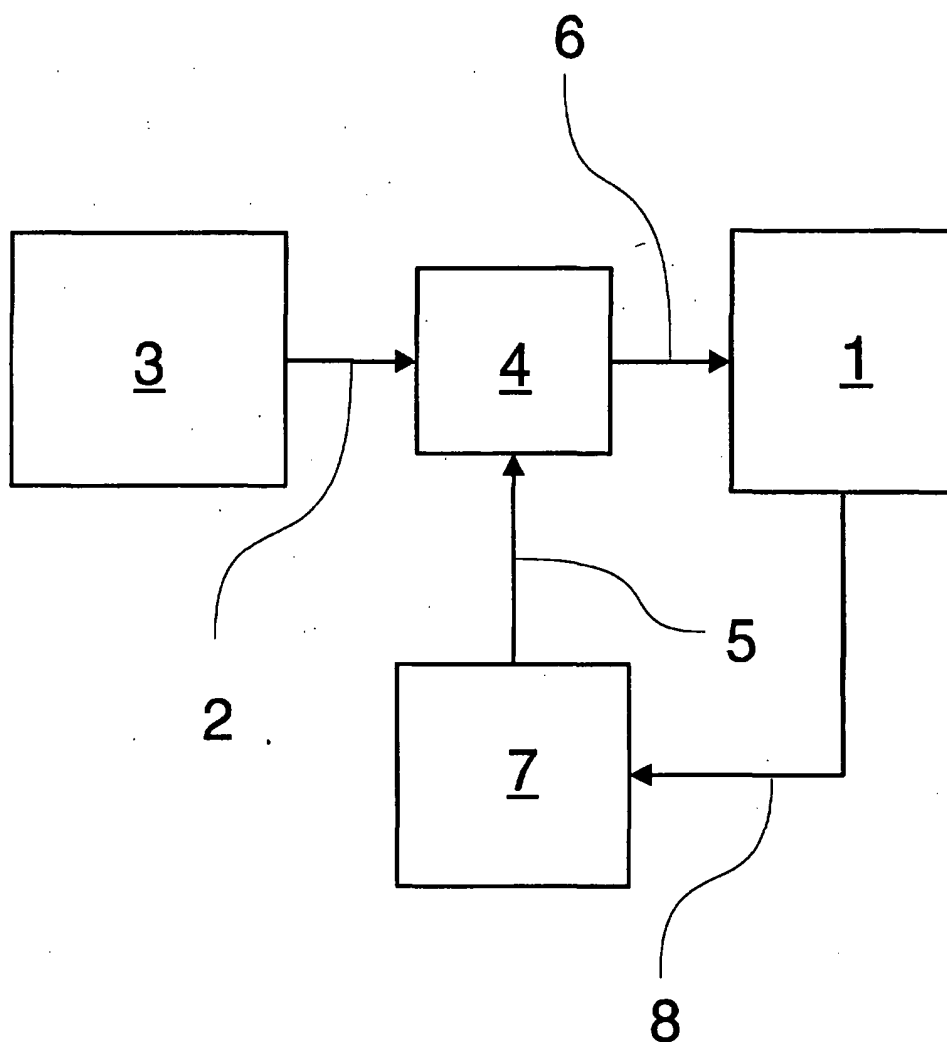
den AOTF's oder AOB'S's berücksichtigt wird.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -



**Method for illuminating an object with light from a laser light source**

Patent Number: ☐ [US2002043618](#)  
Publication date: 2002-04-18  
Inventor(s): ENGELHARDT JOHANN (DE); BIRK HOLGER (DE); STORZ RAFAEL (DE)  
Applicant(s):  
Requested Patent: ☐ [DE10042114](#)  
Application Number: US20010939726 20010828  
Priority Number(s): DE20001042114 20000828  
IPC Classification: H01J3/14  
EC Classification: [G02B21/00M4A](#)  
Equivalents: ☐ [GB2368743](#), ☐ [JP2002148522](#)

---

**Abstract**

---

The present invention relates to a method for illuminating an object with light (2) from a laser light source (3), preferably in a confocal scanning microscope (1). With the method according to the invention, it is possible to reduce the coherence length of the laser light, so that disruptive interference phenomena can be substantially eliminated. Should interference phenomena nevertheless be formed, these are to be influenced in such a way that they have no effect on the detection. The method according to the invention is characterized in that the phase angle of the light field is varied by a modulation means (4) in such a way that interference phenomena do not occur in the optical beam path, or occur only to an undetectable extent, within a predeterminable time interval

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2